



34^{es} Rencontres Universitaires du Génie Civil
Liège, 24-27 mai 2016

SPRITE – UN MODÈLE DE SIMULATION PARTICIPATIVE POUR LA SENSIBILISATION AU RISQUE DE SUBMERSION MARINE SUR L'ÎLE D'OLÉRON

SPRITE – A PARTICIPATORY SIMULATION MODEL FOR RAISING AWARENESS ABOUT MARINE SUBMERSION RISK ON THE OLERON ISLAND

Franck TAILLANDIER¹, Carole ADAM², ETIENNE DELAY³, ODILE PLATTARD⁴, Mira TOUMI⁵

¹Univ. Bordeaux, I2M, UMR 5295, F-33400 Talence, France. franck.taillandier@u-bordeaux.fr

²Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG), UMR 5217, Université Grenoble-Alpes. carole.adam@imag.fr

³Laboratoire GEOLAB, UMR 6042, Université de Limoges, FLSH, 39E rue Camille Guérin 87036 Limoges, etienne.delay@unilim.fr

⁴Univ. Paris 1, UMR 8504 Géographie-Cités. Paris. odileplattard@gmail.com

⁵Groupe de Recherche en Droit Economie et Gestion Université Côte d'Azur. mira.toumi@unice.fr

1. INTRODUCTION

En 2010, la tempête Xynthia a provoqué d'importants dommages sur le littoral atlantique, qu'ils soient d'ordre humain (53 décès en France), matériel (4800 habitations inondées, 120 km de côtes endommagées, 40 km de voies départementales inondées...) ou économique (457 M€ de dépenses publiques) [BER 10]. Xynthia a eu un impact particulièrement

fort sur les îles du littoral atlantique et notamment sur l'île d'Oléron. En effet, la conjonction entre dépression barométrique (977 hpa), fort vent de Sud-Ouest (vitesse des vents supérieure à 110 km/h avec des pointes de l'ordre de 140 à 160 km/h) et coefficient de marée élevé (102) a engendré une surcote littorale d'une hauteur comprise entre 50 à 70 cm [VIN 12][VEN 10]. Cette surcote a eu pour conséquence une



submersion marine qui a touché une partie de l'île (Figure 1) causant d'importants dommages.



Figure 1. Zones submergées lors de Xynthia en 2010 sur l'île d'Oléron [UNI 16]

Paradoxalement, si Xynthia a mis en lumière ce risque, celui-ci était alors largement sous-estimé par les autorités locales ainsi que par la population. En effet, peu d'évènements de submersion antérieurs récents et de grande ampleur s'étaient

déroulés [GAR 10]. Par exemple, la précédente catastrophe ancrée dans les esprits était la tempête Martin en 1999. Cependant, contrairement à Xynthia, les dommages causés résultaient principalement du vent et peu de la submersion marine. Ainsi, le risque de submersion était alors peu considéré conduisant à une faible prise en compte de ce risque dans les politiques d'aménagement et de gestion du territoire [DUV 10] ; cela a entraîné une augmentation de la vulnérabilité de l'île (requalification de zones inondables, défaut d'entretien des digues, etc.), causant une augmentation du risque ; la figure 2 illustre le processus de production et d'accroissement du risque [VIN 12].

Lutter contre le risque de submersion est donc aujourd'hui une priorité pour les élus locaux de l'Île d'Oléron. Cela d'autant plus que le changement climatique devrait conduire à la multiplication des évènements météorologiques extrêmes et ainsi augmenter la probabilité d'occurrence des phénomènes de submersion marine [LEC 15]. Face à ce risque, les élus locaux (communes et communauté de commune) disposent d'un panel de solutions, telles que la construction de digues ou la modification du PLU (plan local d'urbanisme) pour rendre certaines zones inconstructibles. Parallèlement, les élus doivent répondre à différents objectifs : assurer la sécurité des habitants, respecter (et limiter) le budget, préserver la faune et la flore, valoriser l'attractivité de l'île, etc. Or chacune des solutions de maîtrise du risque de submersion a tout à la fois des conséquences positives et des conséquences négatives au regard des objectifs des élus ; par exemple, la construction d'une digue permet de protéger le littoral de la submersion, mais elle induit des coûts de maintenance, elle peut dégrader le paysage et avoir un impact négatif sur la faune et la flore. Il

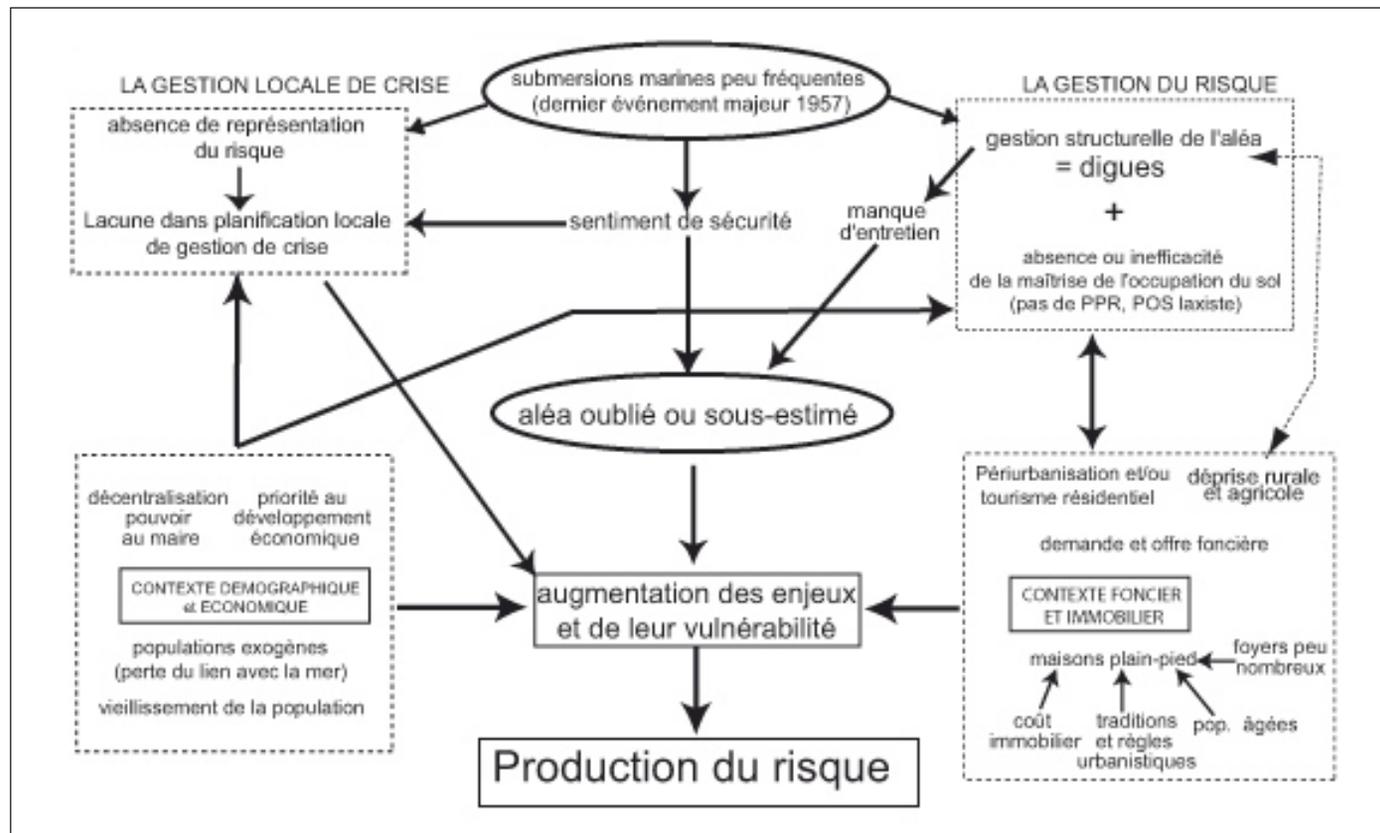


Figure 2. Construction du risque « submersion marine » dans les pertuis charentais [VIN 12]

n'y a pas de solution optimale permettant de répondre simultanément à tous les objectifs ; une bonne gestion passe par une combinaison d'actions assurant un compromis entre l'atteinte des différents objectifs. Mais l'équilibre ou le compromis peut être difficile à établir pour les élus et à comprendre par la population. En effet, les élus ne sont pas experts en tout, et selon leur passé, leur conviction, leur connaissance et leur culture, ils vont souvent avoir tendance à privilégier certains objectifs au détriment d'autres. La compréhension de la nécessité d'atteindre un équilibre est ainsi un enjeu important tant pour les élus qui construisent la politique de gestion du territoire que pour les habitants de l'île qui peuvent ainsi mieux comprendre les enjeux de la gestion de ce risque et donc mieux accepter les décisions publiques, même lorsqu'elles peuvent avoir des conséquences directes et négatives pour eux à court terme (par exemple, un changement du PLU). SPRITE (Simulation Participative des RISques TErritoriaux) cherche à répondre à cet enjeu ; c'est un outil de simulation multi-agents participative dont l'objectif est de sensibiliser les élus et la population au risque de submersion marine et à la notion de gestion équilibrée du risque.

2. SIMULATION PARTICIPATIVE POUR LA SENSIBILISATION AU RISQUE DE SUBMERSION

2.1. Modèle agent

Le système territorial composant l'Île d'Oléron est complexe au sens de la systémique : il est composé de nombreuses entités (parcelle de terrain, bâtiments, digues, etc.) en interaction, il intègre un fort facteur humain (habitant de l'Île) et de nombreuses incertitudes (occurrence de submersion, état des digues, etc.). De plus, les phénomènes d'émergence rendent encore plus difficile sa simulation à un niveau macro (celui de l'île dans son ensemble) à partir de lois générales (équations globales d'équilibre). On parle d'émergence lorsque les propriétés d'un ensemble se différencient de la somme des propriétés de ses parties. Par exemple, la force d'une équipe de football n'est pas réductible à la force de chacun de ses joueurs, mais intègre aussi des phénomènes d'interaction (complémentarité des joueurs, entente entre eux, esprit

d'équipe, etc.). L'émergence est observable dans le cas de la gestion territoriale de l'île d'Oléron vis à vis du comportement de ses habitants. Chacun peut choisir localement ses actions, mais aussi prendre en compte les actions des autres habitants (concertation, concurrence, etc.).

La simulation multi-agents (ou simulation à base d'agents) permet de répondre au défi de la simulation des systèmes complexes. Elle repose sur la modélisation d'un ensemble d'entités autonomes, appelés agents évoluant dans un environnement dynamique (figure 3). Un agent peut être une personne (architecte), un objet physique (pont), un concept (phase de projet), un ensemble d'éléments (portique composé d'une poutre et deux poteaux) ou de personnes (équipe d'ouvrier), etc. Les agents peuvent avoir ainsi des capacités cognitives (un automobiliste) ou simplement suivre des lois physiques (eau). Chaque agent a sa propre vision du système, son propre comportement, ses propres objectifs et sa propre façon d'interagir avec le système. Chaque agent est défini localement (ses propriétés, ses interactions et sa dynamique) ; la complexité du système émerge alors de l'ensemble des interactions entre les agents.

La modélisation agent est particulièrement intéressante pour simuler des systèmes complexes avec de nombreuses interactions. En raison de la complexité des problèmes posés dans le domaine du génie civil, on trouve de nombreuses applications de cette approche dans ce domaine : gestion des projets de construction [TAI 15][TAI 16], gestion des infrastructures routières [DEN 13], démolition de bâtiments [DIN 16], etc.

2.2. Simulation participative

La simulation participative est une approche de simulation dans laquelle le ou les utilisateurs interagissent avec le monde virtuel simulé par l'ordinateur. Par extension, Guyot [GUY 06] définit la simulation multi-agents participative comme une simulation multi-agents avec laquelle les humains interagissent directement en contrôlant un des agents du système. Les participants accèdent ainsi à la simulation comme le ferait un agent.

La simulation participative appartient au domaine des jeux sérieux (ou selon le terme anglais plus fréquemment utilisé 'serious game'). Un jeu sérieux est un jeu utilisé à d'autres fins que celle du seul divertissement ; il peut être utilisé pour

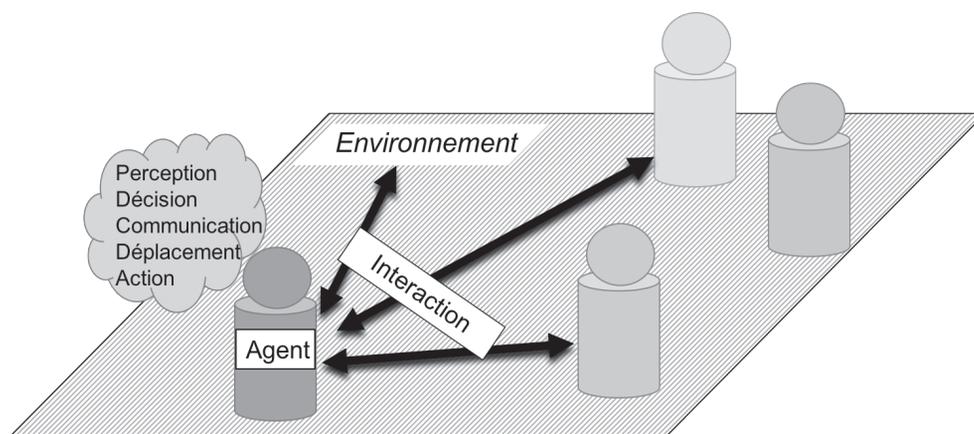


Figure 3. Principes des modèles agent



l'apprentissage, l'entraînement ou la compréhension de mécanisme [MIC 06]. Le recours à des jeux sérieux pour l'acquisition de connaissances présentent plusieurs avantages par rapport aux approches classiques d'enseignement/sensibilisation (livre, article, wiki, etc.). Les jeux sérieux se placent dans une logique constructiviste (telle que proposée par Piaget [PIA 74]) dans laquelle l'apprenant (ici le joueur) construit sa connaissance en se confrontant à un problème (gestion du risque de submersion), via le monde simulé par l'ordinateur. Une méta-analyse regroupant 193 articles sur les jeux sérieux a permis de mettre en avant les avantages suivants [SAU 07] : le jeu sérieux favorise (a) le développement de relations sociales et humaines et des compétences de communication, (b) la motivation à l'apprentissage et soutient positivement l'estime et la confiance en soi, l'engagement et la persévérance, (c) le développement d'habiletés en résolution de problèmes, (d) la structuration, construction et la représentation des connaissances chez les apprenants et (e) l'intégration de l'information en développant la capacité à établir des liens, à transposer des connaissances acquises dans d'autres contextes, et ce, de manière intuitive ou non.

Les jeux sérieux sont particulièrement adaptés à la sensibilisation aux risques [CRO 16]. L'aspect simulation de la simulation participative est en ce sens très intéressant. En plaçant le joueur face à une situation risquée, et en lui permettant de tester différentes façons de lutter contre ces risques, cela peut lui permettre d'une part de mieux appréhender les conséquences des risques et leur possibilité d'occurrence et d'autre part, de comprendre les conséquences de ses actions. Il peut ainsi tester différentes stratégies et voir quels en seraient les impacts. Face aux risques majeurs (comme l'est la submersion marine), cela peut permettre au joueur d'acquérir une expérience, simulée mais proche dans ses mécanismes du monde réel, qu'il lui serait difficile d'acquérir dans le monde réel dans un laps de temps court en raison du temps de retour important de cet aléa.

Les jeux sérieux doivent se baser sur un scénario intégré dans la conception du jeu et devant répondre à un objectif pédagogique [CHA 15]. De plus, le jeu (comme tout jeu, qu'il soit sérieux ou non, informatique ou non) doit être basé sur un ensemble de règles qui vont guider l'expérience du joueur. Les règles doivent spécifier les objectifs pour le joueur, les conditions de victoire et d'échec, les possibilités d'interaction du joueur avec le jeu et le cas échéant avec les autres joueurs, et les mécanismes d'évolution du 'monde jeu' ; c'est à dire, dans un contexte de simulation participative, la partie automatiquement simulée par l'ordinateur. Ces composantes seront soit intégrées au modèle informatique, soit fournies par un support externe (par exemple une fiche à consulter à certains moments du jeu) ; les deux modes étant complémentaires.

3. MODÈLE ET JEU SPRITE

3.1. Principe et règles du jeu

SPRITE place le joueur dans le rôle du décideur politique ayant en charge la gestion territoriale de l'Île d'Oléron. Le joueur est ici l'utilisateur de l'outil : il peut être un élu, un

habitant de l'île ou simplement une personne souhaitant acquérir de l'information quant au risque de submersion ou quant à la gestion d'un territoire insulaire. L'objectif du jeu est simple : le joueur a X années (X tours de jeu) pour obtenir les meilleurs résultats possibles sur chacun des objectifs de gestion économique, environnemental, social et sécuritaire ; la valeur de X est définie selon le scénario joué. Trois scénarii ont été intégrés dans le jeu ; ils sont classés par ordre de difficulté. Pour chacun d'entre eux, il y a une valeur X donnée ainsi que des occurrences et des intensités de submersion (nombre de submersion durant la partie et intensité de celles-ci) ; par exemple, pour le scénario standard, le jeu dure 5 années soit la durée du mandat politique du joueur. De plus, le scénario peut influencer sur des paramètres de jeu, tels que l'exigence des habitants de l'île ou la dégradation du milieu naturel après une submersion. Si, à n'importe quel tour de jeu, le joueur a un score trop faible sur l'un des objectifs (valeurs limites définies par le scénario), cela arrête la simulation avec un message de défaite. A chaque tour peut advenir ou non, une submersion marine entraînant des dommages sur l'île ; la survenance et l'intensité des submersions sont définies dans le scénario. Les variables du monde sont alors mises à jour et le joueur peut ensuite agir. Chaque action a un coût financier et le joueur peut en exécuter jusqu'à épuisement du budget. Le jeu utilise une monnaie virtuelle appelée 'kopek' ; sa gestion est un point clef de la simulation car elle permet au joueur de faire des actions, mais les rentrées d'argent apportées par les impôts peuvent être source d'insatisfaction des habitants.

A la fin des X tours, le jeu s'achève et SPRITE donne le score du joueur. Le score du joueur est placé sur une échelle qualitative lui permettant d'en mesurer la portée. Cette échelle est dépendante du scénario ; par exemple dans le scénario 'jeu classique', un score de 100 correspond au qualificatif : 'score moyen', alors qu'un score de 125 correspond à 'bon score'. Cette caractérisation permet au joueur de se rendre compte de la qualité de sa gestion et peut lui donner envie de rejouer pour améliorer son score. Ce dernier point est renforcé par la présence d'un tableau de 'High score' qui sera mis en ligne et permettra aux joueurs de se mesurer entre eux. Les notions d'évaluation et de compétition dans le jeu permettent d'augmenter la motivation du joueur et ainsi sa capacité à apprendre [KOS 05]. En plus du score global, SPRITE informe le joueur de son score sur chacun des objectifs et cela pour chaque année ; cela peut lui permettre de comprendre quelles ont été ses forces et faiblesses et à quel moment il a effectué des actions ayant entraîné des gains ou des pertes sur les scores. A la fin du jeu, le joueur peut consulter des fiches lui permettant de comprendre les mécanismes d'équilibre entre actions et objectifs ; ces connaissances délivrées sur un mode plus classique permettent de compléter le jeu. Le jeu est alors vu comme un facteur de motivation pour acquérir des connaissances [WOU 09].

3.2. Description des agents du modèle

Le modèle SPRITE contient 4 types d'agent (*Parcelle*, *Territoire*, *Joueur* et *Habitant*) auxquels s'ajoute un agent global (*Monde*) (Figure 4). On distingue les agents cognitifs et ceux joués des autres agents ; en effet, ces deux types d'agents



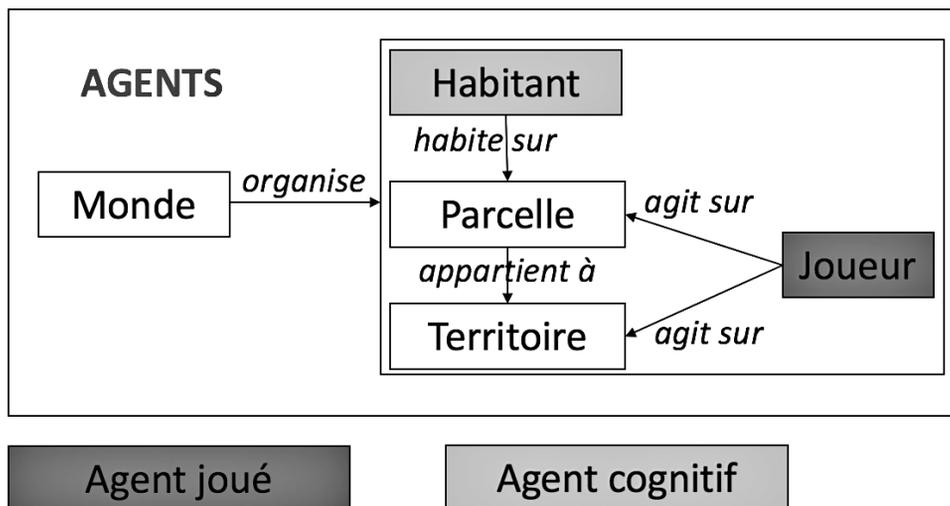


Figure 4. Agents dans le modèle SPRITE

disposent de fonctionnalités particulière (capacité de décision pour le premier et d'interaction pour le second).

Les attributs et les processus des agents sont exposés dans le diagramme de classe en Figure 5.

L'agent *Joueur* dispose de toutes actions de jeu ('user_command') permettant l'interaction avec le monde. L'agent *Habitant* est le seul agent autonome cognitif ; à chaque tour

les agents *Habitant* (qui représente un groupe de 10 habitants de l'île) évaluent la situation et peuvent décider de déménager, de quitter l'île, etc. Les agents *Parcelle* et *Territoire* sont des agents géographiques qui portent les informations dimensionnelles de l'île et qui constituent le cadre du jeu (assimilable au plateau d'un jeu classique). A partir des données SIG de l'île d'Oléron (données planimétriques,

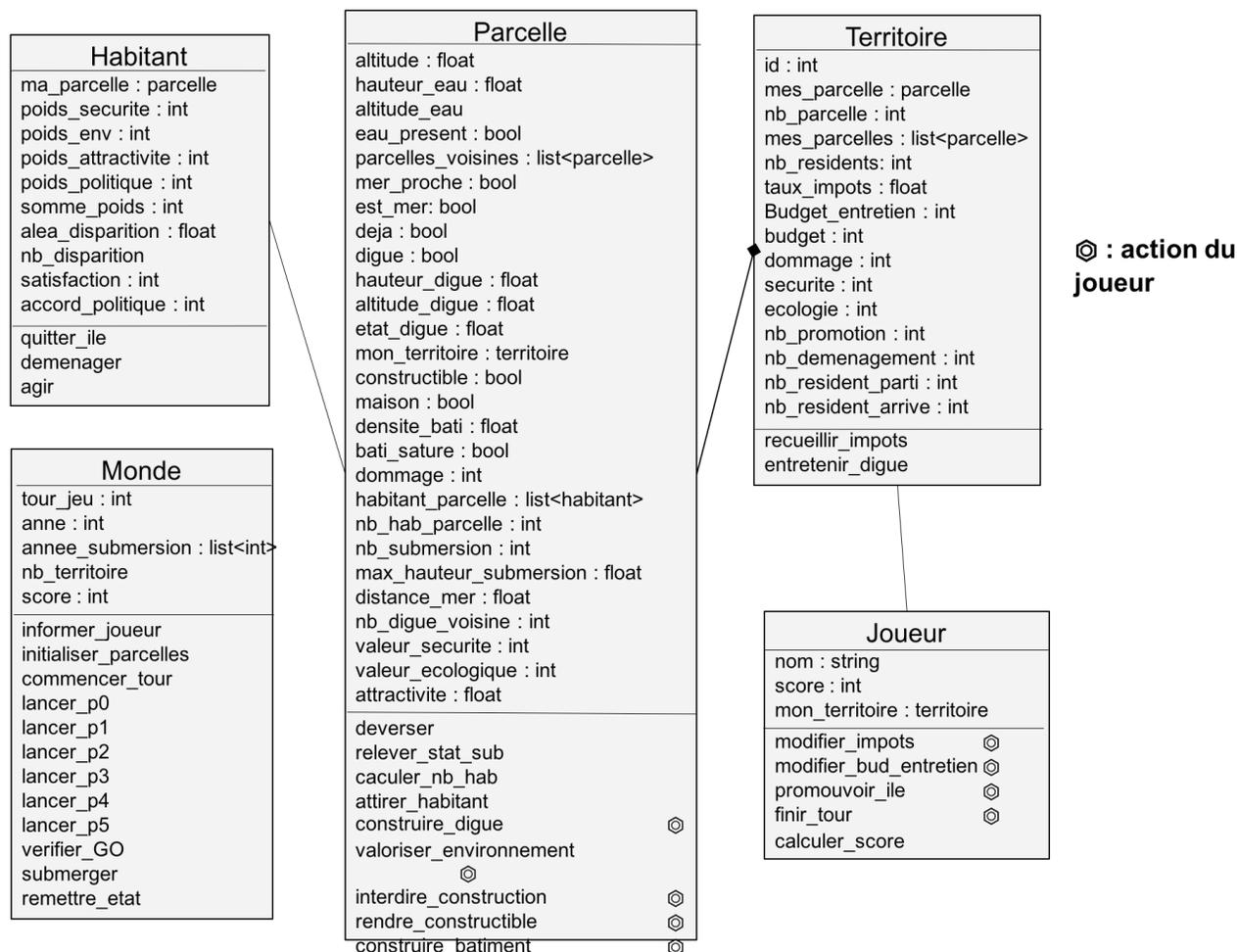


Figure 5. Diagramme de classe du modèle SPRITE



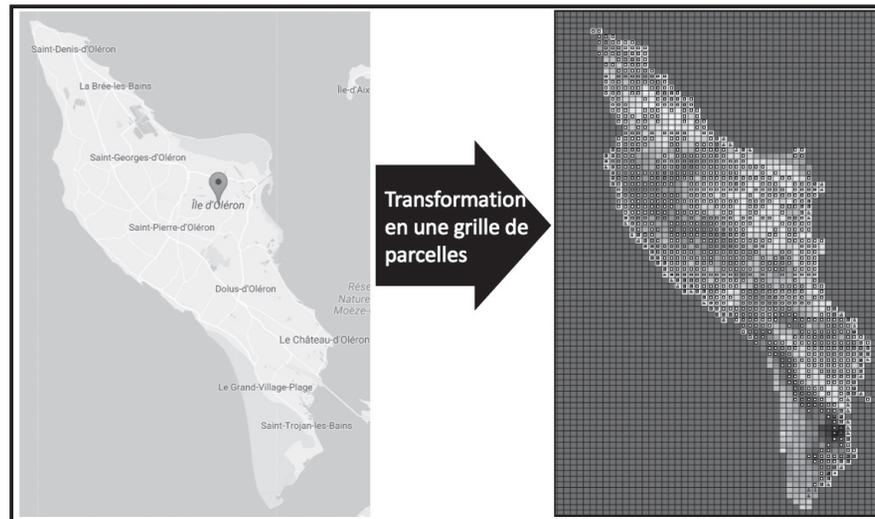


Figure 6. De la carte au plateau de jeu

altimétriques, etc.), SPRITE construit une grille de parcelles (Figure 6) ; afin de minimiser le temps d'initialisation du jeu, la construction de la grille de parcelles est effectuée via un module de SPRITE externe au programme principal et qui n'a pas besoin d'être effectué à chaque lancement du jeu. Les territoires sont composés d'un ensemble de parcelles ; on distingue le territoire marin du territoire de l'île.

3.3. Dynamique du système

Chaque tour de la simulation représente une année sur l'île d'Oléron et suit le même processus (Figure 7).

Phase Nouveau tour : L'année est incrémentée ; un message informe le joueur de l'année et éventuellement lui rappelle la fin imminente en cas de dernier tour.

Phase Submersion : Deux cas se présentent : soit une submersion est prévue à cette année et elle est alors simulée, soit il n'y a aucune submersion et on passe directement à la phase suivante. Les données d'entrées de la submersion sont la force du vent et sa direction, la pression météorologique et le coefficient de marée. A partir de ces données, la hauteur d'eau ainsi que la hauteur de vague sont calculées à partir des modèles proposés par [LEC 15]. La submersion est alors simulée selon un algorithme de déversement présenté en Figure 8. Il y a deux types de transmissions : la transmission de l'eau par déversement (dans les 8 cases voisines, diagonales comprises) et la transmission par vague (seulement dans la direction *vent_vague* seulement). L'algorithme comporte

en plus une règle sur la résistance et l'état des digues : la pression de l'eau ainsi que les vagues peuvent dégrader l'état des digues et ainsi les conduire à la rupture ; la distinction entre eau et vague est alors importante car elles ont chacune leur règle de dégradation des digues. Pendant sa phase de jeu, il faudra que le joueur accorde un certain budget pour leur entretien s'il souhaite qu'elles soient opérationnelles.

A la fin de la simulation de la submersion, SPRITE présente au joueur les zones impactées. Les dommages induits par la submersion sont calculés par parcelle puis sommés ; ils sont fonctions de la hauteur d'eau, du patrimoine bâti sur la parcelle ainsi que du nombre d'habitants. Ils sont traduits par un coût monétaire qui est retranché au budget du joueur ; un budget négatif signifie que le joueur est obligé de faire un prêt auprès des banques pour payer les réparations. Un déficit important est un motif d'échec de la partie (critère économique). Les dommages vont avoir aussi des conséquences sur les habitants (satisfaction et sentiment de sécurité).

Le modèle de submersion retenu est relativement simple. Mais il est suffisant pour obtenir des résultats pertinents ; à titre d'illustration, la figure 9 compare les zones submergées réellement par Xynthia et les résultats obtenus par la simulation en mettant en entrée les vraies données météorologiques de la tempête. On peut remarquer que si la simulation est plus pessimiste que la submersion, on trouve une forte correspondance entre les deux cartes. Si le modèle de simulation n'a pas la prétention d'assurer une reproduction parfaite des phénomènes réels, il permet d'assurer une qualité suffisante des résultats de la submersion dans la logique du jeu.

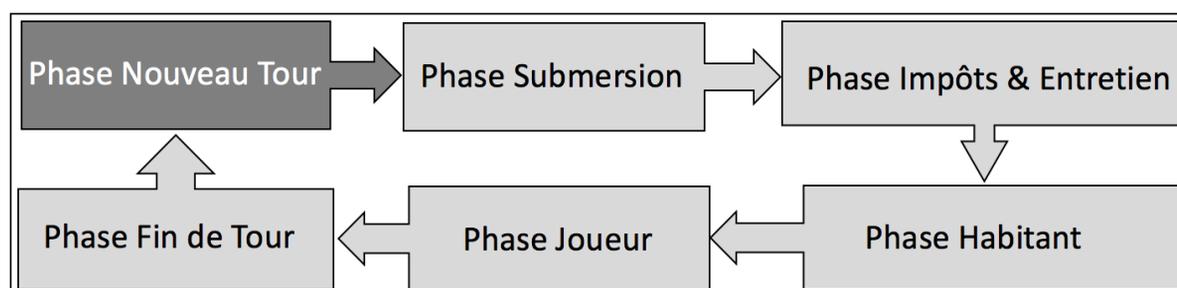


Figure 7. Dynamique du système



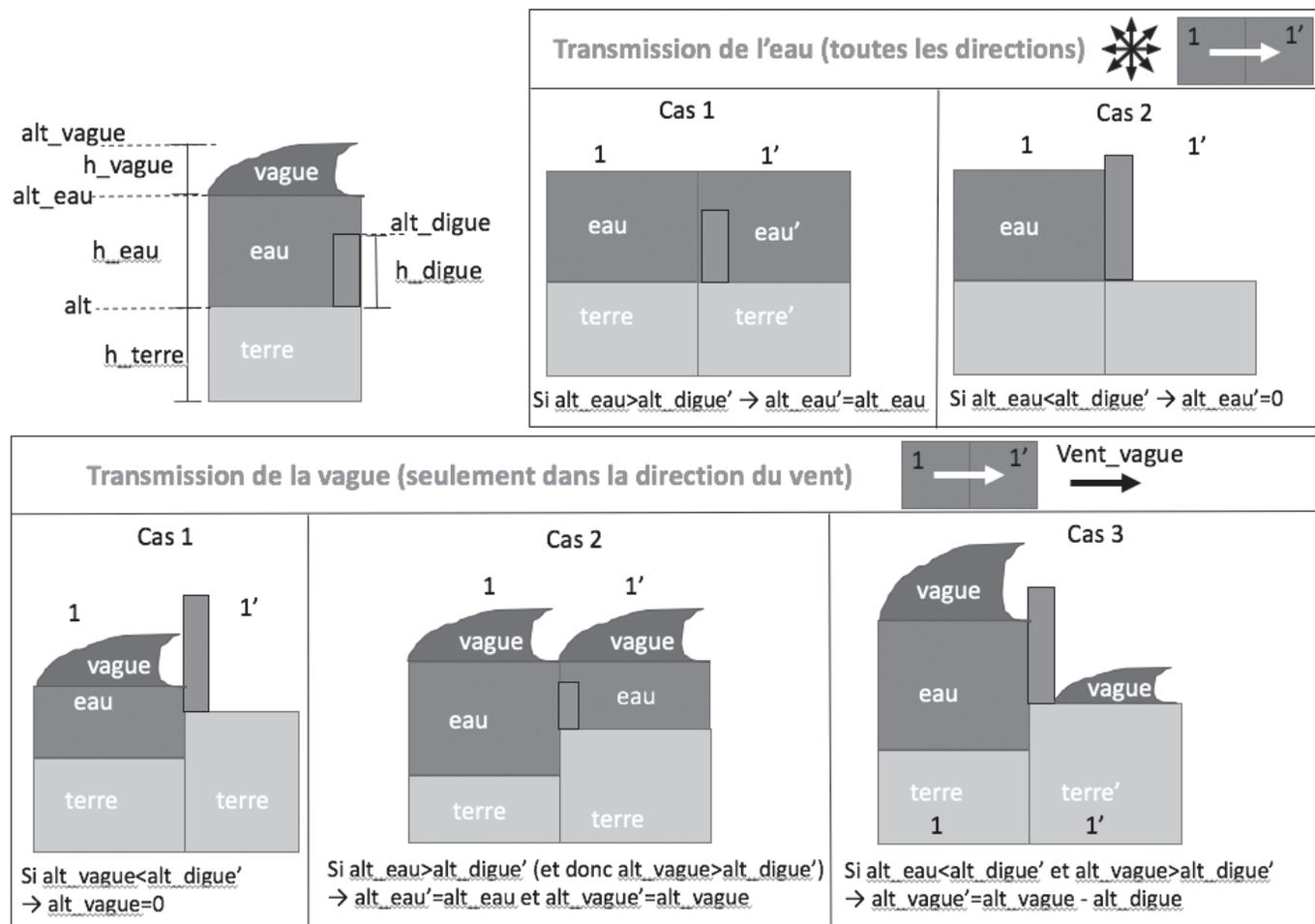


Figure 8. Algorithme de submersion

Phase Impôts et Entretien : Dans cette phase, les impôts sont récoltés pour chaque habitant ; ils dépendent du taux d'imposition qui est fixé par le joueur. Le montant récolté par les impôts est ajouté au budget du joueur. SPRITE attribue ensuite le budget de maintenance/entretien des digues pour la réparation de celles-ci ; plus ce budget sera élevé, plus l'état des digues pourra être restauré. Si le budget du joueur est inférieur à celui prévu pour l'entretien, celui-ci ne sera que partiellement exécuté.

Phase Habitant : Les habitants agissent dans cette phase. Ils peuvent choisir de ne rien faire, de déménager sur une autre zone de l'île (par exemple s'ils ne sentent pas en sécurité dans la zone qu'ils habitent actuellement) ou de quitter l'île (par exemple s'ils sont trop insatisfaits de la vie menée sur l'île). Durant cette phase de nouveaux habitants peuvent aussi arriver sur l'île. Il est à noter que dans le comportement des habitants, il a été intégré une part d'aléatoire ; par exemple un habitant très satisfait peut aussi être amené à quitter l'île, si par exemple, il a trouvé un emploi plus intéressant sur le continent. Les valeurs définissant la satisfaction ou le sentiment de sécurité des habitants évoluent dynamiquement pendant la simulation. Par exemple, un habitant exproprié (action du joueur) verra sa satisfaction descendre fortement.

Phase Joueur : C'est dans cette phase que le joueur peut effectuer des actions ; c'est la partie interactive de la simulation. Il peut effectuer autant d'action qu'il le souhaite

dans la limite du budget disponible. Il dispose de 5 actions au niveau des parcelles : Construire une digue (deux types possibles), Construire des bâtiments, Œuvrer pour la faune et la flore, Exproprier/Rendre inconstructible, Rendre constructible. Il dispose de plus de 3 actions globales : Promouvoir l'île, Modifier le taux d'imposition, Finir le tour (lorsqu'il juge qu'il n'a plus d'action à faire). Chaque action va entraîner des conséquences locales ou globales ; les actions ont généralement des aspects positifs et négatifs. Par exemple, augmenter les impôts va accroître le budget disponible pour effectuer des actions les prochains tours, mais cela va réduire la satisfaction des habitants et l'attractivité de l'île.

Phase Fin de tour : Dans cette phase, SPRITE vérifie dans un premier temps les conditions de défaite. Si un indicateur est en dessous de la valeur seuil fixée par le scénario, le jeu s'arrête et SPRITE explique au joueur ce qui a entraîné son échec. Si le jeu arrive au bout du dernier tour (tel que défini par le scénario), le jeu s'arrête aussi, mais sur un message de victoire. Dans les deux cas, le joueur peut consulter les valeurs sur chaque critère et pour chaque année jouée. Il a de plus accès à un ensemble de fiches lui permettant de comprendre les mécanismes d'équilibre qui régissent le jeu, et ainsi d'acquérir de la connaissance sur le risque de submersion et sur sa gestion.



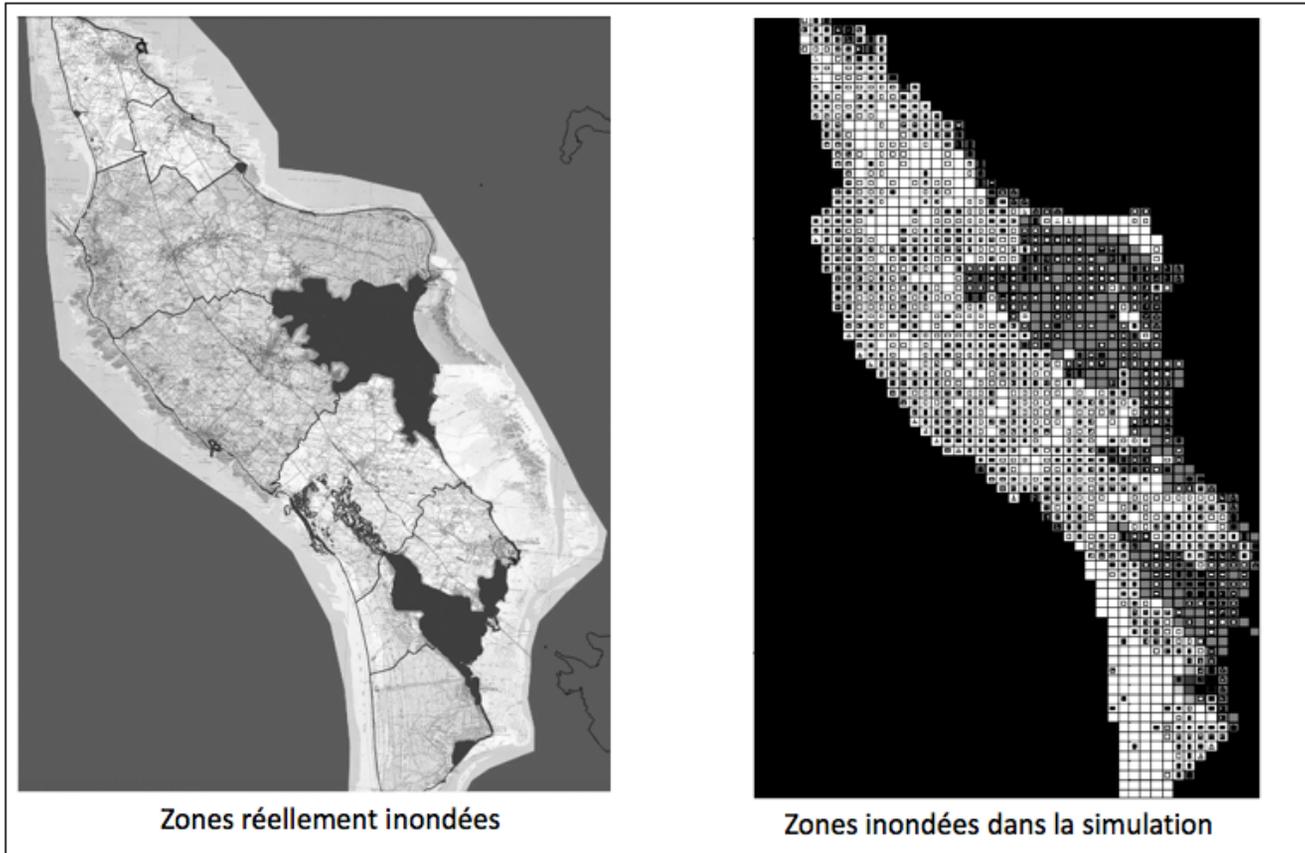


Figure 9. Comparaison entre zones submergées réelles et simulées

3.4. Implémentation

Le modèle a été implémenté sous GAMA qui est une plateforme de modélisation et de simulation permettant de construire des simulations multi-agents spatialisées [GRI 13] [TAI 14]. Elle propose un langage de programmation et un environnement de développement intégré permettant d'élaborer des modèles complexes (plusieurs millions d'agents). De plus, GAMA propose une gestion native des données SIG (Système d'Information Géographique) permettant d'intégrer dans les simulations des fichiers géographiques. Enfin elle dispose de fonctions permettant l'utilisation d'une dynamique participative indispensable pour le modèle SPRITE. La Figure 10 présente l'interface de jeu. Le plateau de jeu est présenté sous forme d'une grille de parcelles dont la couleur indique l'altitude (couleur foncée pour les altitudes les plus importantes). Les triangles représentent les digues (la couleur indique leur nature), les carrés formalisent les bâtiments (la couleur renvoie à la densité de bâti sur la parcelle) et les ronds correspondent à la population (densité indiquée par la couleur). Les actions s'effectuent au travers de la carte par un clic droit donnant accès à une liste d'actions possible. Le clic droit peut être effectué sur une parcelle pour effectuer une action qui la concerne directement (par exemple construire une digue dessus) ou sur un rond jaune en haut à gauche de la carte symbolisant le joueur et lui donnant accès aux actions globales (modification des impôts, campagne de promotion de l'île, etc.).

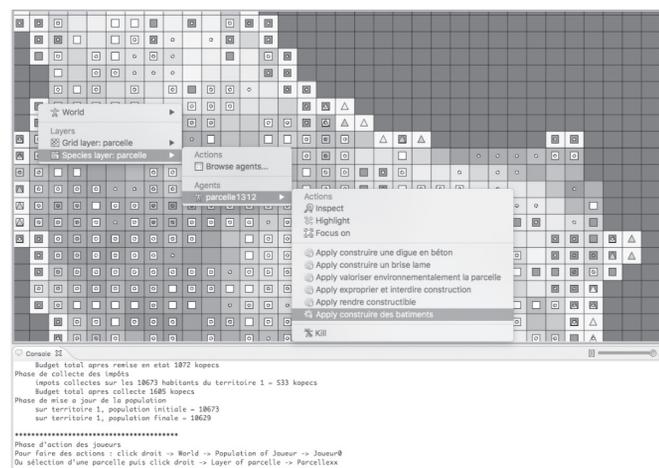


Figure 10. Interface du jeu

La console (en dessous de la carte sur la Figure 10) donne, durant tout le jeu, des informations au joueur (sur les commandes ou sur la situation de l'île).

En complément, afin d'aider le joueur, une règle de jeu a été conçue et est fournie au joueur à chaque partie. Elle rappelle les conditions de victoire et de défaite et résume la liste des actions possibles, leurs effets et leur coût. La figure 11 propose un extrait de cette règle de jeu.





Figure 11. Extrait des règles du jeu

4. CONCLUSION

Afin de sensibiliser les élus de la communauté urbaine d'Oléron et les habitants de l'île à la gestion du risque de submersion marine, nous avons proposé SPRITE, un outil de simulation participative. Il permet de placer l'utilisateur/joueur en tant que décideur lors d'un exercice de gestion avec la mission de définir un équilibre entre économie, popularité, sécurité et environnement. SPRITE a une double vocation pédagogique, en informant le joueur sur un aléa majeur mais souvent mal évalué, et d'autre part en lui donnant à réfléchir sur la politique de gestion de ce risque. Pour les élus, cela permet de leur donner des éléments de réflexion pour mettre en œuvre une stratégie efficace de gestion de ce risque et pour les habitants de comprendre la politique menée par la communauté urbaine/mairie. Le modèle qui a été implémenté sur GAMA est fonctionnel et le jeu est ainsi jouable. Il a été testé par un public hétérogène afin d'en calibrer les règles et l'équilibre. La capacité du jeu à faire apprendre/comprendre le joueur doit être évaluée ; dans ce but, une série d'expérimentations sera prochainement menée. Ensuite, une version pourra être présentée aux habitants et élus de l'île d'Oléron ; cela constituera l'aboutissement de l'expérimentation de ce modèle.

5. REMERCIEMENTS

Le modèle SPRITE a été développé par une équipe pluridisciplinaire dans le cadre d'un atelier de l'école thématique CNRS MAPS 8 (<https://maps.hypotheses.org/evenements-maps-passes/maps-8>), organisée par le réseau

MAPS (Réseau thématique de modélisation multi-agents appliquée aux phénomènes spatialisés). SPRITE a servi de base de réflexion pour le projet LittoSim (AAP Défi Littoral CNRS 2015) porté par Nicolas Bécu et Marion Amalric. LittoSim est basé sur un nouveau modèle intégrant une logique multijoueur et affinant les concepts posés dans SPRITE. Les auteurs remercient aussi Matthieu Cézard dont les travaux en TER (Travail dirigé de recherche) ont servi de base au moteur de submersion marine.

6. BIBLIOGRAPHIE

- [BER 10] Bersani C., Dumas P., Rouzeau M., Gerard F., Gondran O., Helias A., Martin X., Puech P., Fleury B., Greff M., Bougere R., Trepos Y., Tempête Xynthia : retour d'expérience, évaluation et propositions d'action, Ministère de l'écologie, du développement durable et de la mer, 2010.
- [CHA 15] Chadli A., Micro jeux et simulation multi-agents participative : apprentissage des procédures de lutte contre les rongeurs arvicoles, Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 2015.
- [CRO 16] Crovato S., Pinto A., Giardullo P., Mascarello G., Neresini F., Ravarotto L., « Food safety and young consumers: Testing a serious game as a risk communication tool », Food Control, vol. 62, 2016. p.134-141.
- [DEN 13] Denisov M. V., Kamaev V. A., Kizim A. V., « Organization of the Repair and Maintenance in Road Sector with Ontologies and Multi-agent Systems », Procedia Technology, vol. 9, 2013. p.819-825.



- [DIN 13] Ding Z., Wang Y., Zou P. X. W., « An agent based environmental impact assessment of building demolition waste management: Conventional versus green management », *Journal of Cleaner Production*, vol. 133, 2016. p.1136-1153.
- [DUV 10] Duvat-magnan V., *Les impacts de la tempête Xynthia sur les plages de l'île d'Oléron : les réalités du terrain*, Institut du Littoral et de l'Environnement, 2010.
- [GAR 10] Garnier E., Surville F., *La tempête Xynthia face à l'histoire. Submersions et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Âge à nos jours*, Paris, Le Croît Vif, 2010.
- [GRI 13] Grignard A., Taillandier P., Gaudou B., « GAMA 1.6: Advancing the art of complex agent-based modeling and simulation », dans G. Boella, E. Elkind, B. T. R. Savarimuthu, F. Dignum, M. K. Purvis, editors, *PRIMA 2013*, vol. 8291 of *Lecture Notes in Computer Science*, Dunedin, New Zealand, Springer., 2013. p.117-131.
- [GUY 06] Guyot P., *Simulations multi-agents participatives*, Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 2006.
- [KOS 05] Koster R., *A theory of fun for game design*. Scottsdale, Paraglyph Press, 2005.
- [LEC 15] Le Cozannet G., Rohmer J., Cazenave A., Idier D., van de Wal R., de Winter R., Pedreros R., Balouin Y., Vinchon C., Oliveros C. « Evaluating uncertainties of future marine flooding occurrence as sea-level rises », *Environmental Modelling & Software*, vol. 73, 2015, p. 44-56.
- [MIC 06] Michael D., Chen S., *Serious games: Games that educate, train, and inform*. Boston, MA.: Thomson Course Technology, 2006.
- [PIA 74] Piaget J., *La prise de conscience*. Paris, PUF, 1974.
- [SAU 07] Sauvé L., Renaud L., Gauvin M., « Une analyse des écrits sur les impacts du jeu sur l'apprentissage, *Revue des Sciences de l'Éducation* », *Revue des sciences de l'éducation*, vol. 33, n°1, 2007, p. 89-107.
- [TAI 14] Taillandier P., Grignard A., Gaudou B., « Des données géographiques à la simulation à base d'agents : application de la plate-forme GAMA », *Cybergeo : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, vol. 671, URL : <http://cybergeo.revues.org/26263>, 2014.
- [TAI 15] Taillandier F., Taillandier P., Tepeli E., Breyse D., Mehdizadeh R., Khartabil F., « A multi-agent model to manage risks in construction project (SMACC) », *Automation in Construction*, vol. 58, 2015, p. 1-18.
- [TAI 16] Taillandier F., Taillandier P., Hamzaoui F., Breyse D., « A new agent-based model to manage construction project risks – application to the crossroad of Bab El Karmadine at Tlemcen », *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, In press, 2016, <http://dx.doi.org/10.1080/19648189.2015.1134675>
- [UNI 16] Université de La Rochelle, *L'Île d'Oléron face aux risques de submersion et d'érosion marine*, url : http://websig.univ-lr.fr/oleron_test/flash/, 2016.
- [VIN 12] Vinet F., Defossez S., Rey T., Boissier L., « Le processus de production du risque « submersion marine » en zone littorale : l'exemple des territoires Xynthia », *NOROIS*, vol. 222, 2012, p. 11-26.
- [VEN 10] Vent Portant, « Xynthia : le bilan », *Vent Portant*, vol. 25, 2010, p. 3-5.
- [WOU 09] Wouters P., Spek E.D., Oostendorp H.V., « Current Practices in Serious Game Research: A Review from a Learning Outcomes Perspective », *Games-Based Learning Advancements for Multi-Sensory Human Computer Interfaces: Techniques and Effective Practices*. C. Thomas, S. Mark and B. Liz. Hershey, PA, USA, IGI Global, 2009, p. 232-250.

